

**ADAPTIVE CONTROLLER**

**Patent number:** JP63116205  
**Publication date:** 1988-05-20  
**Inventor:** IINO MINORU; SHIGEMASA TAKASHI  
**Applicant:** TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO  
**Classification:**  
**- international:** G05B13/04  
**- european:**  
**Application number:** JP19860262951 19861105  
**Priority number(s):** JP19860262951 19861105

**Abstract of JP63116205**

**PURPOSE:** To prevent an estimation value from being disturbed by disturbance by inputting data obtained by once storing an I/O signal and then reading out the stored signal continuously N times to a parameter estimating means through a filter to estimate a parameter. **CONSTITUTION:** A control system is constituted of a controller 5 for inputting a control targeted value  $r(k)$  and an output error  $\epsilon(k)$  between the output  $y_m(k)$  of a norm model 2 and the controlled variable  $y(k)$  of a controlled system 1 and generating a manipulated variable  $u(k)$  and a closed loop system consisting of a 0-order holder 3 and a sampler 4. The manipulated variable  $u(k)$  and the controlled variable  $y(k)$  are once stored in a data memory 8 through a data flow switching part 7 and sent to a parameter estimating part 10 through filters 9. The estimated parameter is checked by a parameter checking part 11 to control the parameter of the controller 5. An identification signal generating part 15 generates a signal such as a pulse signal and applies the generated signal selectively to the targeted value  $r(k)$  or the signal  $u(k)$ .

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭63-116205

⑬ Int.Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和63年(1988)5月20日

G 05 B 13/04

8225-5H

審査請求 未請求 発明の数 1 (全7頁)

⑮ 発明の名称 適応制御装置

⑯ 特 願 昭61-262951

⑰ 出 願 昭61(1986)11月5日

⑱ 発 明 者 飯 野 稜 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝総合研究所内

⑲ 発 明 者 重 政 隆 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝総合研究所内

⑳ 出 願 人 株 式 会 社 東 芝 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

㉑ 代 理 人 弁 理 士 鈴 江 武 彦 外2名

明 細 書

1. 発明の名称

適応制御装置

2. 特許請求の範囲

(1) 制御対象の出力である制御量信号と制御目標値信号とから上記制御対象の入力である操作量信号を算出する制御器と、制御系の好ましい特性仕様を表わす規範モデルと、前記制御対象の入力信号と出力信号とをフィルタリングする手段と、この手段を通った入出力信号に基づいて前記制御対象の動特性に関するパラメータを推定するパラメータ推定手段と、この手段で得られたパラメータに応じて前記制御器のパラメータを調整して制御系の動特性を前記規範モデルの動特性に一致させる手段とを備えた適応制御装置において、

前記制御対象の入出力信号を記憶させる記憶装置を設け、この記憶装置に長さLの入出力信号を一度記憶させた後、それをN回続けて読出すことによって得られる長さL×Nのデータを一本の入出力信号データとみなし、これをフィルタを介し

て前記パラメータ推定手段に導入してパラメータを推定させるようにしたことを特徴とする適応制御装置。

(2) 前記制御対象に加わる外乱の大きさ、上記制御対象の動特性の時間的変化率、前記入出力信号の持続的励起性の度合いに応じて、前記記憶装置へ記憶させる入出力信号データの長さLおよび繰返し読出し回数Nを自動調整する手段が設けられていることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の適応制御装置。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、動特性が未知あるいは絶えず変化する制御対象を制御する制御器の制御パラメータを、制御系の動特性が規範モデルの動特性に漸近的に一致するように自己調整する機能を持つモデル規範形の適応制御装置に関する。

(従来の技術)

動特性の未知な制御対象に対する有効な制御方式として、モデル規範形の適応制御方式が知ら

れている。この方式の採用した制御装置は通常、第4図に示すように、制御対象1と制御器2とで閉ループ系を構成するとともに制御系の各信号をパラメータ推定装置3に取り込み、このパラメータ推定装置3で制御対象1の動特性に関連したパラメータをリアルタイムで推定しながら、そのパラメータに基づいて制御器2を絶えず調整し、これによって制御対象1の制御量 $y(t)$ を規範モデル4の出力 $y_d(t)$ に漸近的に一致させるようにしている。パラメータ推定装置3におけるパラメータ推定アルゴリズムは、従来、各種のものが提案されている。そのほとんどは逐次形最小二乗法に類似した手法を用いている。

しかしながら、このような従来のモデル規範形の適応制御装置あっては、ある限定された条件下では勝れた特性を発揮するが、実用上においては次のような問題があった。すなわち、逐次形最小二乗法では、観測される制御系の信号に対し、過去に向かって指数関数的に減少する指数減衰形の重みをかけることにより、徐々に特性が変化する

制御対象にゆっくりと追従させながら制御系の特性を最適に近い状態に保つことができる。しかし、制御対象が突プラントのような場合には、作業条件や設定点の変更にともない、プラントの特性が急変することが往々にしてあり、このようなとき逐次形最小二乗法では推定パラメータが十分に追従できないことがある。また、指数減衰形重み係数を調整して特性変化に対する追従速度を速めることもできるが、このようにするとパラメータ調整が観測データに対して過敏となる。この結果、たとえばプラントに未知の外乱が加わったとき推定パラメータが大きく狂い制御系が一時的に乱れることがある。また、長い時間、制御系が安定状態にあるとき、アルゴリズム中の推定パラメータ共分散行列の対象正定性が崩れて、いわゆるパラメータのバースト現象が生じたりする。また、制御対象の特性の急変に追従させるためにパラメータ共分散行列をリセットする方法なども提案されているが、この方法でもリセット時に制御系の過渡的な乱れを生じる問題があった。

#### (発明が解決しようとする問題点)

上述の如く、プラントのように比較的外乱が多く、かつ時々刻々と動特性が変化する制御対象を従来のモデル規範形適応制御装置で制御しようとしても推定パラメータの追従性と外乱に対する安定性とを両立させることが困難であった。

そこで本発明は、外乱が加わってもパラメータ推定値が一時的に乱れず、制御系を安定に保つことができ、しかも制御対象の動特性の急変に対しても迅速にパラメータ推定値を追従させることができる適応アルゴリズムを備えたモデル規範形の適応制御装置を提供することを目的としている。

#### [発明構成]

##### (問題点を解決するための手段)

本発明に係る適応制御装置では、制御対象の入出力信号データを記憶する記憶装置を設け、この記憶装置に、ある時刻より長さ $L$ の入出力信号データを一度記憶させた後、このデータを $N$ 回続けて読出すことにより得られる長さ $L \times N$ の仮想的な入出力データを用いてパラメータ推定アルゴ

リズムでパラメータを推定させるようにしている。

##### (作用)

モデル規範形適応制御系におけるパラメータ推定アルゴリズムでは、観測信号に対して指数減衰的な重み付けをした上でパラメータを推定する。これは離散時間モデル規範形適応制御系、たとえばI.D Landau氏提案の適応アルゴリズムにおいても本質的に、指数重み付け逐次形最小二乗法と同じで、観測信号に対して第2図(a)に示すような指数減衰形の重み付けを行なっていると言える。

本発明装置では、長さ $L$ の観測データを $N$ 回つなげているため、観測データに対して第2図(b)に示すような重み、すなわち実際には第2図(c)に示すような重み付けを行なっていることに相当する。これによって、データ長 $L$ の区間を平均化した推定値が得られるので、 $L$ をある程度長くしておけば、一時的な外乱の影響で推定パラメータが大きく乱れるのを防ぐことが可能となる。また、読出し回数 $N$ を多くすることによって、データ長 $L$ の区間に対する重み付けを大きくすること

ができ、現時刻  $t_0$  に対し、 $t_0 - 1$  以前の観測データに対する重み付けを急激に小さくできるので、制御対象の動特性が急変した場合、過去のデータにひきずられることなく、すみやかに推定パラメータを追従させることが可能となる。したがって、外乱に対する推定パラメータの安定性と、制御対象の特性変動に対する追従性とを両立させることが可能となる。

#### (実施例)

以下、本発明の実施例を図面を参照しながら説明する。

第1図において、1は制御対象を示し、2は制御系の好ましい特性仕様を表わす規範モデルである。制御対象1は操作量  $u(t)$  で駆動され、制御量  $y(t)$  を生じる。この実施例では、操作量のサンプル値  $u(k)$  をサンプリング周期  $\tau$  [sec] の間、一定値にホールドする0次ホールド3と制御量  $y(t)$  を  $\tau$  [sec] 毎にサンプリングするサンプラ4とを用いて制御対象1を見掛け上離散時間システムとしている。したがって、以下の説明で用い

制御性能評価部12は規範モデル2と制御対象1との出力誤差  $e(k)$  を取り込み制御性能を監視、評価する機能を有している。図中13は信号励起性監視部で、この監視部13はパラメータ推定に用いる信号  $u(k)$ 、 $y(k)$  の励起性、すなわち、どれだけ多くの周波数成分を持つかを監視、評価する機能を有している。

図中14は制御系コントロール部で、このコントロール部14は制御性能監視部12および信号励起性監視部13の監視、評価の結果に基づいてパラメータチェック部11におけるチェック基準の調整、後述する同定信号発生部14の起動制御、データフロー切換部7におけるデータ取り込みタイミング、データ長  $L$ 、読出し回数  $N$  の調整等を行なう機能を有している。同定信号発生部15は、制御系コントロール部14から起動信号が与えられると、 $M$  系列等のパシステントリ・エキサイティング信号を発生し、これを切換えスイッチ16を介して制御目標値  $r(k)$  または操作信号  $u(k)$  に選択的に加える。

各種信号  $r(k)$ 、 $y(k)$ 、 $u(k)$  等はサンプリング周期  $\tau$  [sec] の離散時間系列を意味する。

制御系は、制御目標値  $r(k)$ 、規範モデル2の出力  $y_m(k)$  と制御対象1の制御量  $y(k)$  との出力誤差  $e(k)$ 、制御量  $y(k)$  などを取り込み操作量  $u(k)$  を発生する制御器5と、操作量  $u(k)$  にある種のフィルタ処理を行なうフィルタ6、0次ホールド3、制御対象1およびサンプラ4からなる閉ループ系とで構成されている。

上記操作量  $u(k)$ 、制御量  $y(k)$  はデータフロー切換部7を介してデータメモリ8に一度蓄えられてから、あるいは直接、フィルタ9にかけられた後、パラメータ推定部10へ送られる。パラメータ推定部10は、制御対象1に関するパラメータ、または直接に制御パラメータを推定する。これらのパラメータは、パラメータチェック部11で妥当な値であるか否かチェックされる。そして、そのパラメータに基づいて制御器5のパラメータが調整される。

一方、図中12は制御性能評価部であり、この

図中17は入出力装置で、この入出力装置17は制御系コントロール部14へ集められた制御系に関する各種情報をオペレータが読出すのを助けたり、値を変更したりするのに供される。

次に、上記のように構成されたモデル規範形適応制御装置における適応アルゴリズムを説明する。

フィルタ6、ホールド3、制御対象1およびサンプラ4を合わせたものは次式のような離散時間システムと考えることができる。

$$G(Z^{-1}) = \{B(Z^{-1})/A(Z^{-1})\} \cdot Z^{-d} \\ = \{b_0 Z^{-d} + b_1 Z^{-d-1} + \dots + b_m Z^{-d-m}\} / \\ \{1 + a_1 Z^{-1} + \dots + a_n Z^{-n}\}$$

また、望ましい動特性を代表する規範モデル2は、

$$G_m(Z^{-1}) = \{B_m(Z^{-1})/A_m(Z^{-1})\} \cdot Z^{-d} \\ = \{\tilde{b}_0 Z^{-d} + \tilde{b}_1 Z^{-d-1} + \dots + \tilde{b}_m Z^{-d-m}\} / \\ \{1 + \tilde{a}_1 Z^{-1} + \dots + \tilde{a}_n Z^{-n}\} \quad \dots (1)$$

という形で与えられる。ただし、 $Z^{-1}$  は時間  $\tau$  [sec] の時間推移演算子である。

適応制御動作は、以下のアルゴリズムにより実

行される。

まず、制御量  $y(k)$ 、操作量  $u(k)$  をフィルタ 5 に送る。

$$\hat{y}(k) = F_1(Z^{-1}) y(k) \quad \dots (2)$$

$$\hat{u}(k) = F_1(Z^{-1}) u(k) \quad \dots (3)$$

ただし、フィルタ 9 は、

$$F_1(Z^{-1}) = (1 + g_1 Z^{-1} + g_2 Z^{-2} + \dots + g_{ng} Z^{-ng}) / (1 + f_1 Z^{-1} + f_2 Z^{-2} + \dots + f_{n1} Z^{-n1}) \quad \dots (4)$$

なるデジタルフィルタで、たとえば制御対象 1 に加わるバイアス外乱の影響を除くために、

$$F_1(Z^{-1}) = 1 - Z^{-1} \quad \dots (5)$$

などを用いる。

次に、次式を推定モデルとし、

$$\begin{aligned} D(Z^{-1}) \hat{y}(k) &= \phi_{(k-d)}^T \theta_{(k)} \\ &= [\hat{u}_{(k-d)}, \hat{u}_{(k-d-1)}, \dots, \hat{u}_{(k-2d-m-1)}, \\ &\quad \hat{y}_{(k-d)}, \hat{y}_{(k-d-1)}, \dots, \hat{y}_{(k-n-1-d)}] \\ &\quad \times [b_{r0}, b_{r1}, \dots, b_{r_{mid-1}}, s_0, \\ &\quad s_1, \dots, s_{n-1}]^T \quad \dots (6) \end{aligned}$$

観測データ  $\hat{y}(k)$ 、 $\hat{u}(k)$  ( $k=0, 1, 2, \dots$ ) より、推定パラメータ  $\theta(k)$  をパラメータ推定部 10 で逐

$$e(k) = D(Z^{-1}) \hat{y}(k) - \phi_{(k-d)}^T \theta_{(k-1)} \quad \dots (12)$$

$$\theta(k) = \theta_{k-1} + [\mu(k) / \Gamma_{(k-1)}^T \phi_{(k-d)} e(k) / (1 + \phi_{(k-d)}^T \Gamma_{(k-1)} \phi_{(k-d)})] \quad \dots (13)$$

$$\begin{aligned} \Gamma(k) &= 1/\lambda(k) [\Gamma_{(k-1)} \\ &\quad - (\Gamma_{(k-1)} \phi_{(k-d)} \phi_{(k-d)}^T \Gamma_{(k-1)}) / \\ &\quad (\lambda(k)/\lambda(k) + \phi_{(k-d)}^T \Gamma_{(k-1)} \phi_{(k-d)})] \quad \dots (14) \end{aligned}$$

を求める。

ただし、 $0 < \lambda_1(k) \leq 1$ 、

$$\begin{aligned} 0 < \lambda_2(k) &\leq 2\mu(k) - \delta \\ \delta &> 0 \quad \dots (15) \end{aligned}$$

次に、制御器 5 では、推定アルゴリズム (8) ~ (15) により逐次得られる推定パラメータベクトル  $\theta(k)$ 、操作入力の過去の値  $u(i)$  ( $i=k-1, k-2, \dots$ ) および制御量  $y(i)$  ( $i=k, k-1, k-2, \dots$ ) の情報から時刻  $k$  における操作入力  $u(k)$ 、 $u_F(k)$ 、 $u(t)$  を以下の計算で算出する。

#### ステップ 1

$$y_m(k+d) = (B_m(Z^{-1})/A_m(Z^{-1})) \cdot r(k) \quad \dots (16)$$

次推定する。

$$D(Z^{-1}) = 1 + d_1 Z^{-1} + d_2 Z^{-2} + \dots + d_{nd} Z^{-nd} \quad \dots (7)$$

は、 $D(z) = 0$  の根  $z$  が複素平面の原点を中心とした単位円外に存在するように選ばれているものとする。このときパラメータ推定アルゴリズムは次のようになる。

$$\text{時刻 } k=0 \text{ では、} \Gamma_{(0)} = \begin{bmatrix} \alpha & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \alpha \end{bmatrix} \quad \dots (8)$$

(対角のみ  $\alpha$  の行列で、 $\alpha \gg 1$  とする)

$$\theta_{(0)} = [1, 0, \dots, 0]^T \quad \dots (9)$$

時刻  $k > 0$  では、

#### ステップ 1

データ列  $\hat{y}(k)$ 、 $\hat{u}(k)$  より観測ベクトル、

$$\begin{aligned} \phi_{(k-d)} &= [\hat{u}_{(k-d)}, \hat{u}_{(k-d-1)}, \dots, \hat{u}_{(k-2d-m-1)}, \\ &\quad \hat{y}_{(k-d)}, \hat{y}_{(k-d-1)}, \dots, \hat{y}_{(k-n-1-d)}] \quad \dots (10) \end{aligned}$$

をつくる。また、

$$\begin{aligned} D(Z^{-1}) \hat{y}(k) &= \hat{y}_{(k)} + d_1 \hat{y}_{(k-1)} + d_2 \hat{y}_{(k-2)} \\ &\quad + \dots + d_{nd} \hat{y}_{(k-nd)} \quad \dots (11) \end{aligned}$$

を求める。

#### ステップ 2

より、規範モデル 2 の出力  $y_m(k)$  の  $d$  ステップ未来値を求める。

#### ステップ 2

時刻  $k$  における推定値、

$$\theta(k) = [b_{r0}, b_{r1}, \dots, b_{r_{mid-1}}, s_0, s_1, \dots, s_{n-1}]^T \quad \dots (17)$$

から、 $u(k)$  を次式で求める。

$$\begin{aligned} u(k) &= 1/b_{r0} [y_m(k+d) + d y_m(k+d-1) \\ &\quad + \dots + d_{nd} y_m(k+d-nd) - s_0 y(k) \\ &\quad - s_1 y_{(k-1)} - \dots - s_{(n-1)} y_{(k-n+1)} \\ &\quad - b_{r1} u_{(k-1)} - b_{r2} u_{(k-2)} - \dots \\ &\quad - b_{r_{mid-1}} u_{(k-m+1)}] \quad \dots (18) \end{aligned}$$

$$u_F(k) = F_2(Z^{-1}) u(k) \quad \dots (19)$$

$$u(t) = H(s) u(k) \quad \dots (20)$$

( $H(s)$  は零次ホールド要素)

ただし、 $|b_{r0}| < \varepsilon$  のときには、

$$b_{r0} = \text{sgn}(B_{r0}) \cdot \varepsilon_{Dr} \text{ とする。}$$

一般に、操作端のフィルタ 6 は、

$$\begin{aligned} F_2(Z^{-1}) &= [1 + \hat{g}_1 Z^{-1} + \hat{g}_2 Z^{-2} + \dots + \hat{g}_{ng} Z^{-ng}] / \\ &\quad [1 + \hat{f}_1 Z^{-1} + \hat{f}_2 Z^{-2} + \dots + \hat{f}_{n1} Z^{-n1}] \quad \dots (21) \end{aligned}$$

なる形であり、たとえば制御対象 1 に加わるバイアス外乱に対して定常偏差をなくすために、

$$F_2(Z^{-1}) = 1 / (1 - Z^{-1}) \quad \dots(22)$$

などを用いる。なお、操作端への入力以上が大きくなるのを防ぐために、振幅リミッタ、

$$u^*F(k) = \begin{cases} uF(k) & \text{if } |uF(k)| \leq uF_{\max} \\ uF_{\max} & \text{if } |uF(k)| > uF_{\max} \end{cases} \quad \dots(23)$$

を付加する構成法もある。

次に、制御系コントロール部 14、データフロー切換部 7 およびデータメモリ 8 における本発明の特徴とするアルゴリズムの動作について説明する。

制御系コントロール部 14 は、制御系の状態に応じてタイミングをとるためのトリガ信号、データ長 L、繰返し読み出し回数 N をデータフロー切換部 7 へ送る。データフロー切換部 7 では、トリガ信号を時刻 k で受取ると同時に制御対象 1 の入出力信号  $u(k)$ 、 $y(k)$  をデータメモリ 8 に蓄え始める。L 個のサンプリングデータがデータメモ

リタ推定アルゴリズムを停止させる。

(3) 通常は、制御器 5 のパラメータを PID コントローラ等に固定しておき、制御対象の特性が変動したことが検知されたときのみ上述の動作を実行する。

これらは、全て制御系コントロール部 14 のトリガ信号のコントロールによって実現できる。

以上が本実施例の適応制御装置におけるパラメータ推定アルゴリズムである。

なお、本発明は上述した実施例に限定されるものではない。すなわち、上述した実施例では適応制御系を離散時間系として構成しているが、連続時間系のものや、パラメータ推定アルゴリズムのみ離散時間で実行するハイブリッド形のものに対しても同様の構成をとることができる。この場合、データメモリ 8 に記憶されるのは、離散時間データ  $u(k)$ 、 $y(k)$  に代わって連続信号  $u(t)$ 、 $y(t)$  となる。

また、上述した実施例では、1 入力、1 出力の制御対象を対象にしているが、多入出力系に対し

り 8 に蓄えられた時点で、こんどはデータメモリ 8 から L 個のデータ  $y(i)$ 、 $u(i)$  ( $i=k, k+1, \dots, k+L-1$ ) を読出し、フィルタ 9 を通してパラメータ推定部 10 へ送る。この読出しは N 回行われる。この間に新しい入出力データ  $u(i)$ 、 $y(i)$  ( $i=k+L, k+L+1, \dots$ ) はデータメモリ 8 の別の記憶領域に蓄えられる。サンプリングタイム  $\tau$  が上記アルゴリズムの演算時間に比べて充分長いときには、データの N 回の読出し、それに伴うパラメータ推定アルゴリズムの前述した動作(2)、(3)および(10)、(11)、(12)、(13)、(14)、(15)は瞬時に終わることになる。

第 3 図は、これらのタイミング関係を示すものである。なお、第 3 図に示す以外にも以下のような推定アルゴリズムの動作モードが考えられる。

(1) 通常は、従来のモデル規範形適応制御系の動作を実行し、外乱が印加されたことや制御対象の動特性が変動したことが検知されたときのみトリガ信号を発生し、上述の動作を実行する。

(2) 間欠的に上述の動作を実行し、他の時間はバ

ても適応アルゴリズムを拡張して容易に対応させることができる。また、本発明は、モデル規範形適応制御系を主体としたものであるが、パラメータ推定アルゴリズムにおける手法は他の適応制御系であるセルフチューニングレギュレータや PID オートチューニングコントローラに対しても全く同じ考えで用いることができる。

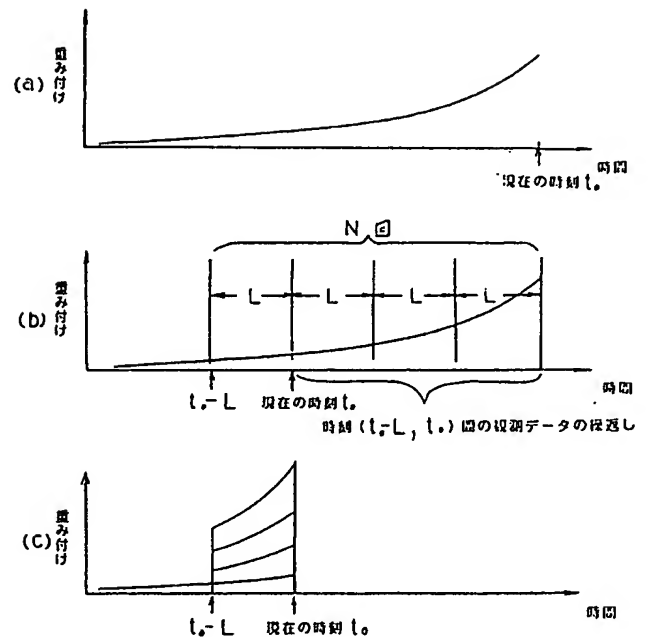
#### 〔発明の効果〕

本発明によるモデル規範形の適応制御装置によれば、制御対象の入出力データを一時的に記憶する記憶部を用い、この記憶部に長さ L のデータを一度蓄えた後、このデータを N 回続けて読出すことにより得られる長さ  $L \times N$  のデータを用いて従来の適応制御系で用いられているパラメータ推定アルゴリズムと同様な手法でパラメータを推定させるようにしているの、制御対象に加わる外乱によって推定値が乱れたり、制御系が一時的に不安定になったりするのを防止でき、同時に制御対象の動特性の変化に迅速に推定パラメータを追従させることができる。

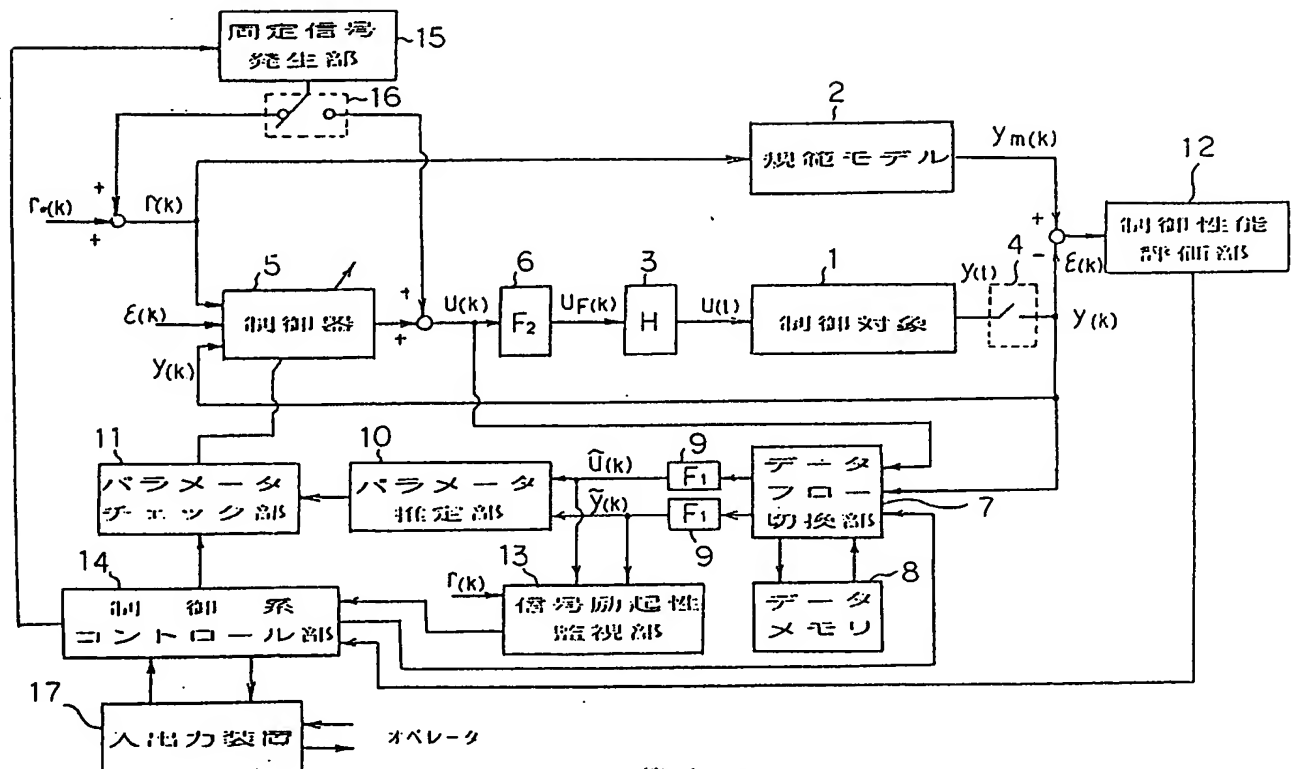
#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例に係るモデル規範形の適応制御装置のブロック構成図、第2図は本発明装置におけるパラメータ推定アルゴリズムの観測信号に対する重み付けを従来のアルゴリズムと比較して説明するための図、第3図は本発明装置のパラメータ推定アルゴリズムにおける観測信号データの流れおよびパラメータ推定アルゴリズムの動きを説明するための図、第4図は従来のモデル規範形適応制御装置の構成図である。

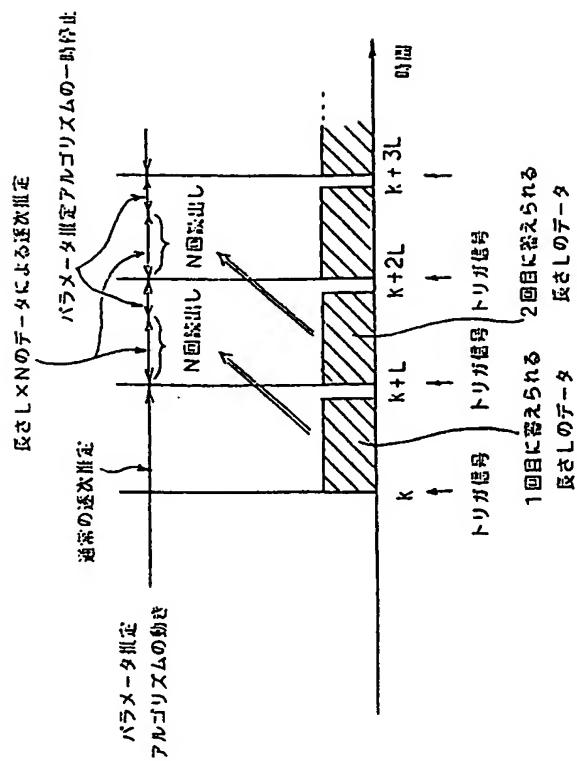
1…制御対象、2…規範モデル、5…制御器、7…データフロー切換部、8…データメモリ、10…パラメータ推定部、11…パラメータチェック部、12…制御性能評価部、13…信号励起性監視部、14…制御系コントロール部。



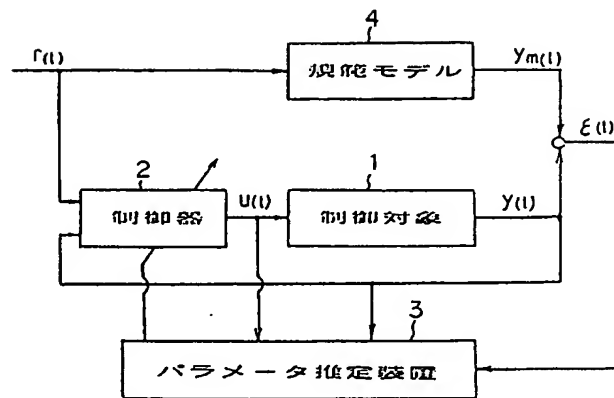
第2図



第1図



第 3 図



第 4 図